

RUISKUVALUKONEEN PALVELUN AUTOMATISOINNIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö

Joona Pauku

Kesäkuu 2011

Kone- ja tuotantotekniikka

Teknologia



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) PAUKKU, Joona	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 07.06.2011
	Sivumäärä 38+6	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi RUISKUVALUKONEEN PALVELUN AUTOMATISOINNIN SUUNNITTELU		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) STRÖM, Markku		
Toimeksiantaja(t) Osakeyhtiö Juho Jussila		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli selvittää Osakeyhtiö Juho Jussilalle silloisen ruiskuvaluprosessin automatisointivaihtoehdot, automatisoinnin kustannukset sekä takaisinmaksuaika. Työssä tutkittiin myös yrityksestä jo löytyvän laitteiston käyttömahdollisuudet automatisoinnissa ja tehtiin nykyisestä tuotantotilasta layout sekä sähköisessä että paperimuodossa. Näiden lisäksi suunniteltiin muutokset layout-malliin, mikäli yritys hankkisi kappaleenkäsittelijärobotin sekä suunnitellun kuljetinjärjestelmän.</p> <p>Tavoitteena työssä oli yhden henkilön koneella työskentelyyn käytetyn ajan puolittaminen. Näin saatiin tehostettua koneen toimintaa ja läpimenoaikaa, sekä työntekijän työaikaa. Tavoitteisiin kuului myös nykyisen layoutin tekeminen, paperimuodossa ja sähköisessä muodossa. Tässä apuvälineenä käytettiin yrityksestä löytynyttä pohjapiirustusta. Samalla piti tuottaa layoutehdotus kappaleenkäsittelijärobotin ja kuljetinjärjestelmän sijoittamiselle silloisiin tuotantotiloihin.</p> <p>Työ tehtiin paikanpäällä suunnitteleamalla ja mittaamalla, sekä Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tiloissa. Kustannuslaskelmat ja takaisinmaksuaikalaskelmat tehtiin Osakeyhtiö Juho Jussilalta sekä muilta yrityksiltä saatujen lukujen perusteella Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Layout luonnokset tehtiin Jyväskylän Ammattikorkeakoulun AutoCAD -ohjelmalla. Tarjouspyynnöt esitettiin osa kirjallisena ja osa puhelimen välityksellä suullisesti. Haastattelut tehtiin puhelimen välityksellä tai suullisesti Osakeyhtiö Juho Jussilan tiloissa. Raportti kirjoitettiin Jyväskylän Ammattikorkeakoulun tiloissa ja Osakeyhtiö Juho Jussilan tiloissa.</p> <p>Mikäli työ toteutettaisiin, vapautuisi yksi henkilö kokonaan yrityksen määrittelemiin muihin tehtäviin ja toisen henkilön koneella työskentelyyn käytetty aika puoliintuisi. Muiden tavoitteiden lisäksi syntyi layoutehdotus kahden tuotantokoneen, kappaleenkäsittelijärobotin sekä kuljetinjärjestelmän sijoittelusta tuotantotiloihin, mikäli yritys ne hankkii. Tuloksiin oltiin yrityksen puolelta tyytyväisiä, mutta toteutuksen yritys jätti päätettäväksi myöhemmin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Ruiskuvalukone, automatisointi, kappaleenkäsittelijä, layout, kustannuslaskelma, kuljetinjärjestelmä		
Muut tiedot		



Author(s) PAUKKU, Joonas	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 07062011
	Pages 38+6	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DESIGNING AN AUTOMATED HANDLING SYSTEM FOR AN INJECTION MOLDING MACHINE		
Degree Programme Mechanical and production engineering		
Tutor(s) STRÖM, Markku		
Assigned by Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd.		
<p>Abstract</p> <p>The subject of the bachelor's thesis was to study and design different types of automation possibilities for Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd.'s plastic injection molding machine. This included finding out the best possible automation solution including a possible conveyor system, the use of a robotic arm to offload the injection molding machine, the cost of the automation and the repayment periods time estimation and the possibility to use Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd.'s equipment in the automation process. The layout of the company's plastic production section was made into a paper version and an electric version and the possible layout modifications were designed for the company in order for them to implement the automation solution should they decide to purchase it.</p> <p>The goal of the bachelor's thesis was to improve the efficiency of the machine and to improve the work pieces lead time. The time the workers spent working with the machine would also be halved. The goal included the making of the then layout, both on paper and as an electric version which were sketched from the company's blueprints. Also a layout suggestion was made on how a robotic arm and a conveyor system would be placed in those production premises.</p> <p>The planning was made in Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd.'s premises and in Jyväskylä University of Applied Sciences' premises. Cost estimate and repayment period were calculated with the data received from Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd. and the other companies included in this Bachelor's Thesis. Layout propositions were sketched with AutoCAD -program from Jyväskylä University of Applied Sciences. Some invitations to submit tenders were presented on the telephone and some in writing. Interviews were taken via telephone or orally in Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd.'s premises.</p> <p>If implemented, the bachelor's thesis would completely release one person from the machines and the other person's time spent working with the machines would be halved. In addition to this and the rest of the goals, a layout proposition for two production machines, one robotic arm and a conveyor system was created. People at Osakeyhtiö Juho Jussila Ltd. were pleased with the results, but will decide later if they want to implement the bachelor's thesis.</p>		
Keywords Automation, plastic injection molding machine, robot arm, layout, cost estimation, conveyor.		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	4
1.1.	Aiheen valinta ja aihe	4
1.2.	Tehtävän tavoitteet	5
2	JUHO JUSSILA OY	6
2.1.	Yrityksen historiaa	6
2.2.	Yrityksen nykytilanne	7
2.3.	Yrityksen tulevaisuudennäkymät	7
3	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS	8
3.1.	Tuotantolaitteet	8
3.1.1.	Muovin ruiskuvalutekniikan teoriaa	8
3.1.2.	Opinnäytetyötä koskevat tuotantolaitteet	14
3.2.	Manipulaattori	17
3.2.1.	Mikä on manipulaattori	17
3.2.2.	Yrityksen manipulaattorin hyödyntäminen kohteessa	17
3.3.	Kappaleenkäsittelyrobotti	19
3.3.1.	Robotin teoriaa	19
3.3.2.	Kappaleenkäsittelyrobotin suunnittelu	20
3.4.	Kuljetinjärjestelmä	22
3.5.	Layout	26
3.5.1.	Layoutin teoria	26

3.5.2.	Tämänhetkinen layout sekä layoutehdotus.....	26
4	TALOUSLASKELMAT	33
4.1.	Kustannuslaskelmat.....	33
4.2.	Takaisinmaksuaikalaskelmat.....	33
5	TUTKIMUSTULOKSET	35
6	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET.....	39

KUVIOT

KUVIO 1.	Krauss-Maffein syöttösuppilo.....	9
KUVIO 2.	Ruiskuvalukoneen ruuvi eri vyöhykkeineen (Höök, T., Nykänen, S. 13.12.2009)	11
KUVIO 3.	Krauss-Maffei 210 B2/60.....	15
KUVIO 4.	Engel ES 700/150	16
KUVIO 5.	Yrityksen oma manipulaattori.....	18
KUVIO 6.	Valmis layout.....	27
KUVIO 7.	Layoutluonnos 1	28
KUVIO 8.	Layoutluonnos 2	29
KUVIO 9.	Layoutluonnos 3	30
KUVIO 10.	Nykyinen layout.....	31

KUVIO 11. Suunniteltu layout.....	32
KUVIO 12. Sivuleikkaus ja mitat.....	32

1 JOHDANTO

1.1. Aiheen valinta ja aihe

Etsiessäni opinnäytetyön aihetta, otin yhteyttä Juho Jussila Oy:lle. Sieltä ilmoitettiin heti, että heillä voisi olla minulle opinnäytetyöhön aihe. Kävin yrityksessä vierailulla, jonka aikana minulle näytettiin tuotantotiloja sekä puuosastolta että muovipuolelta. Kävimme läpi tuotannossa olevia ongelmakohtia ja arvioimme alustavasti tehtävien laajuuksia. Keskusteltuamme aiheista tulimme siihen tulokseen, että muoviosastolla heillä oli tehtävä, jonka laajuus sopi opinnäytetyöksi. Tämän lisäksi yrityksellä oli suurempi tarve projektityövoimalle nimenomaan muovituotannon puolella, joten päätin ottaa aiheeni sieltä.

Aiheeksi määritettiin tuotannon pullonkaula ruiskuvalukoneella, jossa valmistetaan sellaista kappaletta, jota ei ominaisuuksiensa puolesta voi pudottaa koneen omalla ulostyöntimellä kuljetinhihnalle. Koneella valettava läpinäkyvä, kirkas muovikappale oli valamisen jälkeen lämmin ja erittäin herkkä naarmuuntumaan, mistä johtuen konetta oli ajettava puoliautomaattisesti. Työntekijän tehtävänä oli poistaa kappale koneen muotista, tarkastaa muoto valoa vasten ja asettaa kappale pakkauslaattikkoon. Tämä toimintamalli oli hidas ja vaati yhden henkilön työpanoksen kokoaikaisesti. Työntekijät kertoivat, että työpisteessä ei viihdytty, työ oli niin yksitoikkoista, että sitä ei jaksettu tehdä kuin noin tunnin kerrallaan ja siirtyminen automaattiseen kappaleen käsittelijään koettiin pelkästään positiivisena.

Yrityksestä toivottiin ratkaisua kappaleen koneesta poistamisen mekanisoimiseksi sekä sellaisen kuljetinjärjestelmän kehittämiseksi, jolla valmiit kappaleet kuljetetaan sivummalle ja josta työntekijä käy tietyin väliajoin tarkastamassa ja pakkaamassa kappaleet. Myyntipäällikkö Harri Savo antoi myös tehtäväksi tutkia, voiko yrityksestä löytyvää manipulaattoria käyttää kappaleen muotista poistamiseen.

Ohjaavan opettajani Markku Strömin kanssa pidetyn aloituspalaverin jälkeen tulimme siihen tulokseen, että selvitän opinnäytetyönäni manipulaattorin käyttömahdollisuudet kohteessa, kappaleenkäsittelijärobotin hankkimisen kustannukset ja takaisinmaksuajan, piirrän muoviosaston tämänhetkisen layoutin sekä sellaisen layoutin, jossa kappaleenkäsittelijärobotti hoitaa kahta ruiskuvalukonetta samanaikaisesti.

1.2. Tehtävän tavoitteet

Tavoitteena opinnäytetyössä oli esittää ehdotus ruiskuvaletun tuotteen poistamiseksi muotista mekanisointivarustusta hyväksi käyttäen ja osan sijoittamiseksi välivarastona toimivalle kuljettimelle sekä työntekijän vapauttaminen tarkastamaan ja pakkaamaan kyseinen tuote noin tunnin väliajoin. Tämän lisäksi tavoitteena oli tuottaa yritykselle selvitys siitä, mitä kappaleenkäsittelijärobotin sekä kuljetinjärjestelmän hankinta maksaa, mitä etuja näillä hankinnoilla saavutetaan ja mikä on kokonaiskustannusten takaisinmaksuaika. Tehtävään kuului myös muoviosaston nykyisestä layoutista sähköisen version tuottaminen ja layoutehdotuksen suunnittelu kahden ruiskuvalukonetta palvelevan kappaleenkäsittelijärobotin sekä kuljetinjärjestelmän sijoituksesta tuotantohallissa. Lisäksi yrityksestä löytyvän manipulaattorin käyttömahdollisuudet kyseisessä tehtävässä selvitettiin.

Työn tavoitteena oli ainakin yhden työntekijän vapautuminen kyseisestä työtehtävästä yrityksen määrittelemään uuteen tehtävään. Lisäksi tavoitteina oli tuotannon nopeuttaminen, kustannustehokkuuden parantaminen tuotantolaitteella sekä tuotetun kappaleen tuotantokustannusten vähentäminen.

2 JUHO JUSSILA OY

2.1. Yrityksen historiaa

Oy Juho Jussila on vuonna 1923 perustettu jo neljännessä polvessa toimiva perheyritys. Yhtiö muutettiin osakeyhtiöksi vuonna 1934.

Kansakoulun opettaja Juho Jussila pohti 1900-luvun alussa syitä siihen, miksi lähes kaikki taloudessa tarvittavat yksinkertaiset puuesineet olivat muualla kuin Suomessa valmistettuja, vaikka hyvää ja halpaa puuraaka-ainetta oli saatavilla runsaasti. Hän tutustui Saksaan tehtyjen opintomatkojen aikana saksalaiseen pienteollisuuteen sekä puulelutuotantoon ja näiden matkojen innoittamana hän aloitti oman kasvatusopillisen leikkikalusarjansa suunnittelun. Porissa vuonna 1909 järjestetyssä maatalousnäyttelyssä oli Juho Jussilan ensimmäinen puulelujen näyttelyosasto.

Aluksi yrityksessä keskityttiin käyttöesineiden, kuten lumilapioiden, mankeleiden sekä talousportaiden valmistukseen. Erilaisista vaikutteista ja monivuotisista suunnitelmista syntyneen Fortuna-pelin tuotanto aloitettiin 1926. Toimiessaan Jyväskylässä opettajana Juho Jussila käytti peliä harjoituskoulussa laskemisen apuvälineenä, mutta kaupankäynti ulkomaille oli hänen tavoitteenaan alusta asti. Viennin ensiyritys vuonna 1929 onnistui yli odotusten ja pohjoismaisen viennin sekä etenkin Englannista nousseen suuren kysynnän voimin Juho Jussilan pelitehdas, paitsi selvisi pula-ajasta, toimi myös 1930-luvulla merkittävänä työttömyyden lievittäjänä Jyväskylässä.

Osakeyhtiö Juho Jussilan muoviosasto perustettiin vuonna 1950 erillisenä yhtiönä nimellä Tetra Oy, joka hankki koneet, laitteet ja raaka-aineet uusien tuotteiden valmistamiseksi. Ensimmäiset muoviosat - kuten Tikka-pelin pyrstöt, lelujunien pyörät sekä erilaiset lelujen liitososat - ruiskuvalettiin vuoden 1951 tammikuussa.

Muoviosaston toiminta laajeni voimakkaasti 1960-luvulla ja aloittanut yhtiö Tetra Oy oli jo aikaisemmin sulautettu osaksi Osakeyhtiö Juho Jussilaa. Asiakaskuntaan

kuului niin huonekalujen, ajoneuvojen, valaisimien kuin astioidenkin valmistajia. Uudet tuotantotilat valmistuivat Jyväskylän Palokankaalle vuonna 1986 ja vuonna 2002 46 vuotta yhtiötä johtanut Erkki O. Jussila jäi eläkkeelle.

(Oy Juho Jussila verkkosivut, www.juhojussila.fi/historia/.)

2.2. Yrityksen nykytilanne

Työn tekohetkellä yrityksen omistajana ja toimitusjohtajana toimi Erkki O. Jussilan tytär Maija Jussila-Savo. Yritys valmisti edelleen tunnettuja ja legendaarisen maineen saavuttaneita Jukka® -puuleluja ja näiden lisäksi muoviosia ruiskuvalumenetelmällä muulle teollisuudelle. Myyntipäällikkö Harri Savo luonnehti yritystä taloudellisesti vakavaraiseksi alansa toimijaksi, joka selvisi taantumasta ilman suurempia taloudellisia menetyksiä. (Savo 2011.)

2.3. Yrityksen tulevaisuudennäkymät

Myyntipäällikkö Harri Savon mukaan ruiskuvaluteollisuuden liikevaihtovolyymi ei Suomessa tulisi enää nousemaan, ellei kustannustasossa tapahtuisi oleellista muutosta. Hänen mielestään ruiskuvaluteollisuuden raaka-ainehankintojen tulisi olla keskieurooppalaista keskiarvotasoa. Valtamuovien osalta kierrätettyjen raaka-aineiden osuus tulisi hänen mukaansa kasvamaan poliittisten päätösten seurauksena. Tällä Savo viittasi Eurooppalaisen raaka-ainemateriaalien kierrätyspäätökseen. Savo uskoi yrityksen ruiskuvalutuotannon säilyvän vahvasti osana yritystä ja näki muovin raaka-aineen kierrätyksen positiivisena asiana, koska tällä myös vähennettiin tuotannon riippuvuutta raaka-aineiden tuonnista. Kotimainen kierrätysraaka-aine on kuitenkin laadukasta ja sen tarjonnan Savo uskoi kasvavan tulevaisuudessa voimakkaasti. (Savo 2011.)

Puupuolen tulevaisuuden myyntipäällikkö Savo näki haastavana. Kysynnän paljouden takia tuotantokapasiteettia pitäisi nostaa, mutta teknillisesti riittävän korkeatasoisen raaka-aineen puutteesta johtuen tähän ei ollut ryhdytty.

Tilaukannat näyttivät kuitenkin tasaisen hyviltä ja materiaalin saannista riippuen uusiakin asiakkaita otettiin mahdollisuuksien mukaan. (Savo 2011.)

3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

3.1. Tuotantolaitteet

3.1.1. Muovin ruiskuvalutekniikan teoriaa

Ruiskuvalaminen on menetelmä, jota käytetään termoplastisten polymeerien ja elastomeerien, termosettien ja joidenkin silikonilaatujen valamiseen.

Ruiskuvalulaitteiston osia ovat ruiskuvalukone, ruiskuvalumuotti sekä muotin jäähdyttämiseen käytettävä laitteisto. Ruiskuvalukoneen valujakso on jaettavissa muotin sulkemiseen, muotin täyttämiseen eli ruiskutukseen, jälkipaineeseen ja kappaleen jäähdytykseen sekä muotin avaamiseen ja kappaleen ulostyöntöön. (Aalto, Alavalkama, Höök, Järvelä, Puhakka & Valtatie 2011; Höök & Nykänen 2009; Muovimuotoilu. n.d.; Johannaber 2008. 342-344, Nieminen 2011)

Näiden lisäksi rinnakkaisena prosessina kone valmistaa samanaikaisesti uuden raaka-aineannoksen seuraavaa muotin täyttöä varten. Tähän prosessiin kuuluu raaka-aineen syöttäminen ruuville sekä sen plastisointi. Ruiskuvalukoneen jaksoaika tarkoittaa yhden muottipesällisen valmistukseen kuluvaa aikaa. Jaksoaikaan vaikuttavat kappaleen koko, muodot ja valettavan materiaalin ominaisuudet, mutta eniten kokonaisjaksoajan pituuteen vaikuttaa kappaleen jäähdytysaika. (Mt.)

Raaka-aineen syöttö

Yksinkertaisin tapa raaka-aineen syöttämiseen on painovoiman hyväksikäyttö, eli syöttösuppilo (ks. KUVIO 4) asennetaan ruuvin yläpuolelle, josta raaka-aine virtaa itsestään ruuviin.



KUVIO 1. Krauss-Maffein syöttösuppilo

Syöttölaitteiston ohessa on useasti myös raaka-aineen kuivauslaitteisto. Mikäli raaka-aineen vapaassa virtauksessa on ongelmia, voidaan apuna käyttää pakkosyöttölaitetta. (Mt.)

Muotin sulkeminen ja sulkuvoima

Muotti sulkeutuu nopeasti, mutta sulkeutuminen hidastuu, kun muotin jakopinnat alkavat lähestyä toisiaan. Sulkuvoima tarkoittaa ruiskuvalukoneen suurinta

puristusvoimaa, jolla kone pystyy valuprosessin aikana puristamaan muotteja vastakkain. Sulkuvoima on yksi ruiskuvalukoneiden luokitteluperusteista. (Mt.)

Sulkuvoimat vaihtelevat ruiskuvalukoneilla suuresti, mutta tavallisimmillaan sulkuvoimat liikkuvat välillä 200 - 50 000 kN, ruiskutuspaineet voiva olla jopa 2500 baaria ja ruuvien halkaisijat 18 - 120 mm. Pienimmässä valmistetussa ruiskuvalukoneessa männän halkaisija on vain 2mm ja ruiskututilavuus (määrä juoksevaa muovimassaa, joka täyttää muotin onkalot sekä valu-uran) noin 300 milligrammaa. Suurin koskaan rakennettu ruiskuvalukone oli sulkuvoimaltaan 100 000 kN, mutta vähäiset tuotantoajot ja käyttö osoittavat, että suurin käytännöllinen sulkuvoima ruiskuvalukoneilla on noin 50 000 kN. (Mt.)

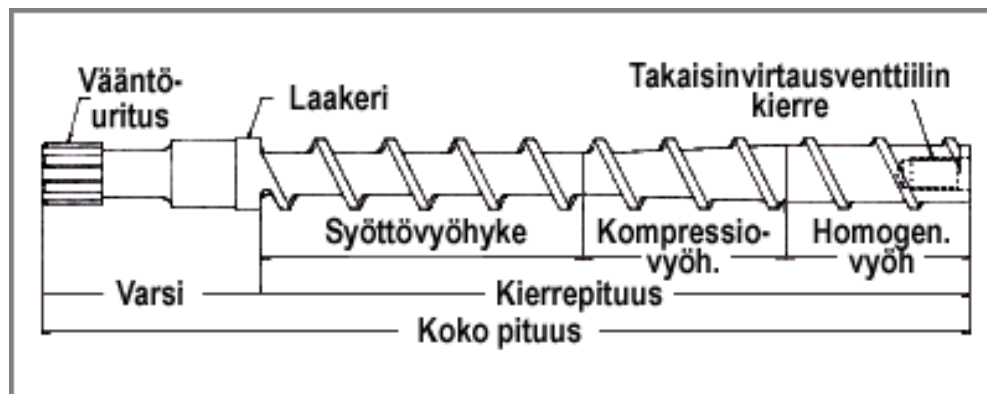
Muotin täyttäminen

Muotin täyttäminen eli ruiskutus on tärkein vaihe ruiskuvaluprosessissa ja sen nopeus yhdessä muotin lämpötilan kanssa vaikuttaa eniten kappaleen pinnanlaatuun. Ruiskutuksen perusvaatimuksena on, että muotin tulee täyttyä mahdollisimman nopeasti, jotta massa jähmettyisi niin tasaisesti kuin mahdollista. Ruiskutusnopeutta kuitenkin rajoittaa ilman poistuminen muotista. Mikäli kaikki ilma ei ehdi poistumaan muotista, kappale saattaa esimerkiksi jäädä huokoiseksi. Valuprosessin rinnalla ja yleensä jäähdytyksen aikana kulkevan raaka-aineen plastisointiprosessin ansiosta ruiskutusyksikössä on ruiskutusvalmis raaka-aineannos valmiina, kun muotti sulkeutuu. Tästä syystä muotin täyttäminen alkaa heti kun ruiskutusyksikön suutin on asettunut tiivistä muotin suutinta vasten ja muotti on täysin suljettu. Ruiskutusyksikön suuttimen tyypistä ja raaka-aineesta riippuen ruiskutusyksikkö voidaan joko pitää muotissa kiinni kunnes kone sammutetaan tai se ajetaan taaksepäin muotin jokaisen täyttövaiheen päätyttyä. Ruiskutuksen kesto vaihtelee kappaleen koosta, muodoista ja materiaalista riippuen kymmenesosasekunneista muutamiin sekunteihin. (Mt.)

Ruiskutuksen jälkeinen jälkipainevaihe vaikuttaa merkittävästi kappaleen mittatarkkuuteen, kappaleen painoon sekä muovin sisäisiin jännityksiin. (Mt.)

Raaka-aineen plastisointi

Ruiskuvalukone aloittaa uuden raaka-aineannoksen plastisoinnin, eli massan juoksevaan olotilaan saattamisen kun jälkipainevaihe on päättynyt. Tämä tapahtuu koneessa ulkoisen lämmön, ruuvien aiheuttaman kitkalämmön ja ruuvien paineen avulla. Raaka-ainehake syötetään ruuvien syöttövyöhykkeelle, josta ruuvien kierteteet kuljettavat hakkeen kohti kompressiovyöhykettä. Kompressiovyöhykkeellä ruuvien halkaisija kasvaa (ks. KUVIO 5) aiheuttaen painetta ja siten lämpötilan nousua massassa. Yhteisvaikutuksena ulkoisen lämmön kanssa massa alkaa hiljalleen muuttua juoksevaksi. Homogenointivyöhykkeellä raaka-ainemassa on ruiskutusvalmiina homogeenisessä ja juoksevassa tilassa. (Mt.)



KUVIO 2. Ruiskuvalukoneen ruuvi eri vyöhykkeineen (Höök, T., Nykänen, S. 13.12.2009)

Plastisoinnin aikana muovimateriaalista vapautuu useasti valukappaleen pinnanlaatua heikentäviä tai kappaleen huokoisuutta aiheuttavia höyryjä ja kaasuja. Tämän ongelman ratkaisuna käytetään niin sanottuja kaasunpoistoruuveja. (Mt.)

Jäähdytys

Jäähdytysaika alkaa, kun jälkipainevaihe päättyy. Koska ruiskutuslämpötilat ovat välillä 150 - 450 °C, tulee kappaleiden lämpötilaa laskea materiaalista riippuen noin 60 - 200 asteeseen ennen kappaleen poistamista muotista. Tästä johtuen

jäähdytysajasta ja sitä kautta jäähdytyksestä muodostuu ruiskuvalukappaleen jaksoaikaan eniten vaikuttava vaihe. (Mt.)

Muotin avaus ja ulostyöntö

Kun muotti on viilentänyt kappaletta niin että kappale on jähmettynyt, muotin voi avata ja kappaleen työntää ulos muotista. Mikäli taukoaikaa ei tarvita esimerkiksi jumiutuneen kappaleen uudelle ulostyöntämiselle, voi uuden ruiskuvalujakson aloittaa sulkemalla muotin. (Mt.)

Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen tehtävänä on avata muotti ja sulkea se, muodostaa riittävä sulkuvoima pitämään muottipuolikkaat yhdessä ruiskutuksen ajan, ruiskuttaa plastisoitu massa muottiin sekä plastisoida uusi massa-annos seuraava muotin täyttöä varten. Vaikka ruiskuvalumuotti valmistetaan aina yhtä tuotetta tai tuoteperhettä varten, niin mikäli ruiskuvalukoneen sulkuvoima riittää pitämään muottipuolikkaat yhdessä ja muotti on oikean kokoinen koneeseen, voi ruiskuvalukonetta käyttää muidenkin muovikappaleiden valamiseen. (Mt.)

Ruiskuvalukone voidaan jakaa vielä sulku-, ruiskutus-, käyttö- sekä ohjausyksiköihin. Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleisimmin sulkuvoiman, ruiskutustilavuuden sekä ruuvikoon mukaan. (Mt.)

Sulkuyksikkö

Sulkuyksikön tehtäviin kuuluu muotin avaaminen, jotta kappale voidaan työntää ulos muotista, sekä muotin sulkeminen ennen seuraavan massa-annoksen ruiskutusta. Muotin etupuolisko kiinnitetään kiinteästi koneen rungossa kiinni olevaan sulkuyksikön etulevyyn takalevyn toimiessa sulkuyksikön toisena ankkurilevyinä. Näiden levyjen välissä on normaalisti neljä yhdensuuntaista johdetta, joiden päihin levyt on kiinnitetty. Kolmas levy, johon muotin takaosa

kiinnitetään, liikkuu sulkuyksikön ohjaamana etu- ja takalevyjen välisillä johteilla. Takalevyssä oleva ns. ulostyöntösylinteri ohjaa muotin takapuoliskon kappaleenpoistomekanismia. Suurimassa osassa ruiskuvalukoneita on polvinivelistö, joka tuottaa sulkusylinterin kanssa koneen sulkuvoiman sekä tukee muottipöytää valuprosessin ajan. (Mt.)

Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön tehtävinä on plastisoida koneelle syötetty raaka-aine, ruiskuttaa juokseva raaka-aine muottipesään, muodostaa jälkipaine sekä siirtää ruiskutusyksikkö muottia vasten ja siitä irti. Tämän lisäksi yksikkö muodostaa voiman, jolla ruiskutusyksikön suutin pysyy tiiviisti kiinni muotin suuttimesta. (Mt.)

Ruiskutusyksikköön kuuluu syöttösuppilo, suutin, sylinteri, sulkurengas, ruuvi, sekä plastisointiin tarvittavat lämmitysvastukset. Plastisointivaiheessa ruuvi liikkuu taaksepäin samalla kun se kerää eteensä yhden ruiskutuskerran tarvitseman materiaalmäärän. Ruiskutusvaiheessa hydraulisylinteri työntää ruuvia eteenpäin, jolloin ruuvi puolestaan työntää juoksevaa materiaalia muottiin sulkurenkaan estäessä massaa virtaamasta taaksepäin. Tätä juoksevan muovimateriaalin työntämistä muottiin kutsutaan ruiskutuspaineeksi, joka on tällä menetelmällä enimmillään 2500 baaria. Ruiskutussylinterin kärjessä oleva suutin voi olla joko avonainen, eli painesuutin tai sulkeutuva, eli mekaaninen suutin. Painesuuttimessa muovin paine pystyy avaamaan suuttimen, kun taas ulkoisesti ohjatussa suuttimessa jokin mekaaninen apuväline sulkee suuttimen. Muovin raaka-aine määrä sen, onko suutin avonainen vai sulkeutuva. (Mt.)

Ohjausyksikkö

Nykypäivänä ruiskuvalukoneet ovat lähes kaikki tietokoneohjattuja. Tietokoneohjaus tapahtuu ruiskuvalukoneissa ohjausyksiköllä, jolla ohjataan ja

säädetään mm. sylinterin, sulan, kuumakanavan ja muotin lämpötiloja, ruuvien pyörimisnopeutta, ruiskutusnopeutta, jälkipainetta sekä pöydän liikkeitä. (Mt.)

Muotti

Muotti on ruiskuvalukoneen osa, joka koostuu yksinkertaisimmillaan muottipöytään kiinnitetyistä kiinteästä ja liikkuvasta muottipuolikkaasta. Muotti antaa valettavalle kappaleelle sen halutun muodon. Ruiskuvalumuotti on aina yhtä tuotetta varten metallista valmistettu kappale, joka on mitoitettu kestämiinsä jopa 2500 baarin ruiskutuspaine. Muotin materiaali riippuu mm. tuotteen valmistusmääristä. (Mt.)

Muotin hinta vaihtelee muutamasta tuhannesta aina satoihin tuhansiin euroihin riippuen mm. muotin koosta, materiaalista, suunnittelusta kestoikästä sekä muottipesien lukumäärästä. Karkeasti jaoteltuna muotin hinnasta kolmasosa koostuu muottiaihioista ja valmisosista ja loput kaksi kolmasosaa mm. suunnittelusta, koneistuksesta ja testauksista. (Mt.)

Nykyisin ruiskuvalumuotit pyritään valmistamaan mahdollisimman pitkälle moduulirakenteisena standardiosista, jotta muotti on nopeampi rakentaa, muotin laatu on parempi, osat ovat vaihtokelpoisia ja vanhoja muotteja voidaan käyttää uudelleen. (Mt.)

3.1.2. Opinnäytetyötä koskevat tuotantolaitteet

Opinnäytetyötä koskevat ruiskuvalukoneet olivat Krauss-Maffei 210 B2/60 (ks. KUVIO 6) muoviruiskuvalukone sekä Engelin ES 700/150 muoviruiskuvalukone (ks. KUVIO 7).

Krauss-Maffei oli 1991 valmistettu ruiskuvalukone, jonka sulkuvoima oli 600 kN. Osakeyhtiö Juho Jussilaan kone oli hankittu käytettynä vuonna 2006. Laitetta hankittaessa se oli ollut vain testauskäytössä. Laite oli ostettaessa erittäin hyväkuntoinen ja sillä oli ajettu vain 5000 tuntia. Huhtikuun alkuun 2011

mennessä konetta oli ajettu noin 7900 tuntia ja Krauss-Maffeilla ajetaan 1+1 pesäistä saippuakuppia. Saippuakuppi oli 163 mm pitkä ja 86 mm leveä saippuakuppi, johon +1 osana valettiin 39 mm pitkä ja 31 mm leveä kiinnitysosa. Koska Krauss-Maffei oli ollut testauskäytössä, siitä löytyi monta erilaista anturia ja mittalaitetta. Niistä löydettiin automaatioon soveltuva robottiliitäntä.



KUVIO 3. Krauss-Maffei 210 B2/60.



KUVIO 4. Engel ES 700/150

Engelin ES 700/150 oli yritykseen 1980-luvun lopussa uutena hankittu ruiskuvalukone, jonka sulkuvoima oli 1500 kN. Koneetta oli ajettu huhtikuun alkuun 2011 mennessä hieman alle 50 000 tuntia. Sillä valettiin kaksipesäistä saippuakuppia, eli muotissa oli kaksi kuppia rinnakkain, jotka valettiin samanaikaisesti. Yksi kuppi oli noin 230 mm pitkä ja noin 90 mm leveä. Kone itsessään ei sisältänyt robottiliitettä, mutta robottivalmistajien edustajilta saatiin vakuutus siitä, että koska koneessa on portin turvarajat ja koneen pysäytys, koneen automatisoinnissa ei olisi ongelmia.

3.2. Manipulaattori

3.2.1. Mikä on manipulaattori

Teollisuudessa manipulaattorilla tarkoitetaan yksinkertaista kappaleen vaihtamiseen käytettävää mekaanista konetta. Manipulaattori muistuttaa rakenteeltaan yksinkertaista lineaaribottia, jonka ohjaus ja kappaleen tunnistus on toteutettu yleisimmin ohjelmoitavalla logiikalla ja erilaisin anturein. Erona manipulaattorilla ja lineaaribotilla on se, että useasti manipulaattori on kiinnitettynä yhteen pisteeseen, kun taas lineaaribotti liikkuu jonkin akselinsa suhteen kiskolla. Myös liikkeiden toistotarkkuus on manipulaattorissa huomattavasti heikompi kuin lineaaribotilla. 1990 -luvun alussa manipulaattoreista puhuttiin myös nimityksellä kappaleenvaihtajabotti ja näitä termejä käytettiin rinnakkain tekniikan kehittyessä, kunnes kappaleenvaihtajabotti syrjäytti terminä manipulaattorin. Nykyisin kappaleenvaihtajabottina toimii useasti kehittyneempi kappaleenkäsittelyyn suunniteltu käsivarsibotti. (Lehtonen 1994; Kotamäki & Nyberg 1992, 67-72; Aaltonen & Torvinen 1997, 142; Lewis & Munro 2004)

3.2.2. Yrityksen manipulaattorin hyödyntäminen kohteessa

Työ aloitettiin manipulaattorin käyttömahdollisuuksien kartoittamisella kohteessa. Kyseessä oli erään tuotantokoneen oston yhteydessä tullut manipulaattori (ks. KUVIO 8), jonka tuntematon yksityinen henkilö oli valmistanut kyseiselle koneelle. Laite oli noin 20 vuotta vanha, mutta toimiva. Mitoiltaan manipulaattori oli suuri, sen painavia umpinaisia metallitangoista tehtyjä rakenteita liikuttivat paineilmasylinterit ja laitteen rakenteet olivat väljiä.



KUVIO 5. Yrityksen oma manipulaattori

Sylintereiden teoreettinen teho oli riittävä, mutta ohjauksessa käytettävä ohjattava logiikka koettiin hankalaksi ja muuntelemattomuutensa vuoksi kömpelöksi. Työkoneella saatettiin ajaa muitakin tuotteita, jolloin manipulaattorin käyttöönotto uudelle tuotteelle olisi ollut vaativa ohjelmoida. Tämän lisäksi kappale, jonka päähän tarttuja asennettiin, oli mitoiltaan 350 mm syvä, 590 mm korkea sekä 100 mm leveä. Näin ollen ilman tarttujaakaan tarttujan varsi ei mahtunut ajojohtimien väliin, josta kappale tuli poistaa. Koska muotit olivat erittäin kalliita, eikä niihin saanut tulla pienintäkään virhettä, tarttujan todettiin olevan liian epätarkka ja suuri näin suurta tarkkuutta vaativaan työhön.

3.3. Kappaleenkäsittelyrobotti

3.3.1. Robotin teoriaa

Standardi SFS-EN 775 sanoo teollisuusrobotin olevan automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitava ja monikäyttöinen käsittelylaite, jolla on useita vapausasteita ja joka voi olla joko kiinteästi paikalleen tai liikkuvaksi asennettuna käytettäväksi teollisuuden automaatiojärjestelmissä. (Aaltonen & Torvinen 1997,141.)

Sana robotti on tullut käyttöömme tšekkiläiseltä kirjailijalta nimeltä Karel Capek, joka käytti sanaa näytelmässään R.U.R. (Rossum's Universal Robots). Tšekin kielen termi robota, joka tarkoittaa tehdä työtä pakosta, käännettiin englanniksi sanalla robot. (Aaltonen ym. 1997, 138.)

Robottien kaupallinen suunnittelu ja valmistus aloitettiin 1960 -luvulla. Alkuaikojen robotit olivat kalliita ja epäluotettavia, mutta 1970 -luvulla robottien ohjelmointi yksinkertaistui ja nopeutui ja myös robottien luotettavuus parani. Näiden seurauksena robottien teollisuuskäyttö yleistyi. (Mts. 138-140)

Robottien kasvaneen tarkkuuden ja luotettavuuden myötä robotit ovat nykyään avainasemassa esimerkiksi steriiliä valmistusympäristöä tai äärimmäistä tarkkuutta vaativien kappaleiden siirtelyssä ja käsittelyssä. Toisaalta automatisoidut tuotantosolut ja tuotantolinjat valmistavat kappaleita edullisesti ja korkealaatuisesti samalla jakaen ihmisiä robotiikkaa ja automatiikkaa vastustaviin ja puolustaviin. Toiset mieltävät robotiikan ja automatisoinnin työtehtäviä helpottaviksi ja epämieluisia töitä poistaviksi, toiset työpaikkoja vieväksi teollisuuden suuntaukseksi.

Tänä päivänä robotit jaotellaan niiden tärkeimpien käyttövaatimusten ja suunniteltujen käyttökohteiden perusteella useisiin eri kategorioihin, kuten esimerkiksi kappaleenkäsittelijöihin, kaari- ja pistehitsaus-, kokoonpano- sekä pakkausrobotteihin. Näiden lisäksi robotin valintaan vaikuttavat akseleiden lukumäärä eli vapausaste, suurin ulottuma, toistotarkkuus, sekä useissa tapauksissa robotin hyötykuorma.

3.3.2. Kappaleenkäsittelyrobotin suunnittelu

Työ aloitettiin selvittämällä kappaleen käsittelyyn erikoistuneiden robottien maahantuoja ja myyjiä sekä pohjustamalla tarjouksen ja hinta-arvion pyytämistä. Aluksi tutkittiin mahdollisuutta, jossa yksi kappaleenkäsittelyrobotti hoitaisi ruiskuvalukonetta. Lopulta päädyttiin tulokseen, että halvin vaihtoehto olisi lineaarirobotti, joka kuitenkin oli tuotantomäärät ja tuotantoajan huomioiden verrattain vähän työllistettynä. Tämän lisäksi robotti olisi ollut tuotannon mahdollisesti muuttuessa vaikea siirtää muihin tehtäviin. Yrityksen edustajat olivat kuitenkin pyytäneet nimenomaan sellaista vaihtoehtoa, jossa mahdollisessa tuotannon muutoksessa kappaleenkäsittelyrobotti olisi voitu siirtää myös toisiin tehtäviin. Näin ollen keskityttiin tutkimaan vaihtoehtoa, jossa kappaleenkäsittelijärobotti hoitaisi yhtäaikaaisesti kahta rinnakkain olevaa tuotantokonetta.

Aluksi selvitettiin sitä, minkälainen kappaleenkäsittelyrobotti olisi tehtävään sopivin. Tämä aloitettiin laskemalla tuotantomäärät sekä jaksoajat molemmilta koneilta. Useita luonnoksia tehtiin siitä, minkälainen kappaleenkäsittelyrobotti olisi tehtävään sopivin. Robotin ulottuvuutta laskiessa huomioitiin aikaisemmin tehdyt laskelmat kuljetinhihnan pituudesta ja leveydestä. Tämän lisäksi ulottuvuutta laskiessa huomioitiin ruiskuvalukoneiden muottien sijainti. Nämä kaikki tekijät huomioiden laskujen osalta tultiin tulokseen, jossa robotin minimiulottuvuudeksi määritettiin noin 2450 mm. Tämä ulottuvuus palveli hyvin myös hihnan lastausta, sillä robotti ei kuitenkaan olisi kyennyt pakkaamaan tavaroita aivan runkonsa juureen. Toimintasäteessä oli usein monen sadan millimetrin väli koneen toimintasäteen ja koneen rungon välillä, johon tarttuja ei ylettynyt.

Kun koneen vaadittavan minimiulottuvuus oli saatu selville, otettiin yhteyttä neljään robotteja valmistavan yrityksen edustajaan Suomessa, joita olivat Yaskawa-Motoman Oy, Fastems Oy, joka edusti Fanuc -robotteja, ABB Oy sekä KUKA Robotics Corporationia edustanut CLS-Engineering Oy. Robottivalmistajat

valittiin sen perusteella, kuinka tunnettuja he olivat. Näin tehtiin sen perusteella, että suurilla valmistajilla ajateltiin olevan parempi liikkumavara hinnoissa ja huoltotarjouksissa kuin pienimmillä yrityksillä. Myös huollon oli todettu olevan parempi. Näistä edustajista Fastems Oy:n sekä ABB Oy:n edustajat kävivät tehtaalla vierailulla katsomassa tilat ja tekemässä omat muistiinpanonsa. Heidän kanssa suunniteltiin kappaleenkäsittelijälle tarttuvia, joka olisi sopiva nimenomaisesti näille tuotteille, mutta olisi myös sen verran yleinen, että sillä olisi voinut tuotannon muuttuessa ottaa kiinni muunkin muotoisista kappaleista.

Ensin suunniteltiin tarttujaksi niin sanottua imutyynyä, jolla kappaleesta olisi voinut ottaa tukevan otteen. Imutyyny olisi ollut kappaleen kokoinen silikoninen ”tyyny”, jossa olisi ollut useampi imureikä joilla alipaine tarttumiseen olisi muodostettu. Tälle olisi teoreettisesti ollut hyvän ja tukevan otteen lisäksi etuna se, että kappaleiden ollessa kuumia, ne olivat hieman sameita, jolloin mustaa imutyynyä vasten optinen lukija olisi mahdollisesti kyennyt tarkistamaan kappaleen valuvirheiden varalta. Laatupäällikkö Ari Niemiseltä kysyttiin, onko imukuppitartuntaa suunniteltu, johon hän vastasi, että sitä oli aikaisemmin yritetty. Myös optista kappaleen tarkistusta oli yritetty, mutta imukuppi oli jättänyt kappaleeseen jälkiä, joten sitä ei voitu tartuntamenetelmänä hyväksyä.

Kappaleiden pakkaaminen suoraan kuljetuslaatikkoon olisi ollut äärimmäisen vaikea automatisoida, koska kappaleita tuli laatikkoon monta päällekkäin ja naarmuuntumisen estämiseksi kerrosten väliin oli laitettava jotain.

Kustannussyistä käytössä oli sillä hetkellä ohut silkkipaperi. Yhden silkkipaperin nostaminen esimerkiksi imukupilla varustetulla tarttujalla ei ABB Oy:n sekä Fastems Oy:n edustajienkaan mukaan olisi ollut käytännössä mahdollista, koska mukana olisi noussut aina useampi paperi. Paksumman paperin käyttäminen olisi aiheuttanut lisäkustannuksia. Saman paperin käyttäminen olisi ollut mahdollista vain automaattisella menetelmällä, jossa paperi olisi tullut suoraan rullalta, jonka jälkeen se olisi leikattu automaattisesti sopivaksi. Näin ollen tultiin siis siihen tulokseen, että koska kappaleiden laatikkoon pakkaamisen automatisointi olisi vaatinut niin suuret investoinnit, ei imukuppitarttujan suunnittelu ja optisen tarkistusmenetelmän testaaminen olisi ollut kustannussyistä järkevää. Tämän

takia päädyttiin ABB Oy:n sekä Fastems Oy:n edustajien kanssa yksinkertaiseen kaksipuoliseen tarttujaan, jossa toisella puolella oli toiselle koneelle erikoisesti muotoiltu tarttuja ja toisella puolella piikkimallin yleistarttuja. Tällä menettelyllä tarttujaa ei tarvinnut suunnitella uudestaan tuotannon muutoksissa, mutta sillä sai tukevan otteen nykyisistä tuotteista.

Tarjouspyynnöt lähetettiin hyvissä ajoin, mutta kahden kuukauden odottelun ja useiden muistutusten jälkeen tarjouksia ei ollut saatu kuin Fastemsilta ja Yaskawa-Motomanilta. Siksi todettiin, että työ tehdään loppuun näiden tarjousten pohjalta.

Tarjousten saavuttua pakatut tiedostot purettiin ja niitä alettiin muotoilla yrityksen edustajille esitettävään muotoon. Kappaleenkäsittelijärobotin valinta jätettiin yritykselle, koska robottien käyttäjien kommenttien tutkimisen jälkeen, tultiin siihen tulokseen, että teknisesti kyseessä oli hyvin samanlaiset kappaleenkäsittelijät ja erot laitteiden välillä johtuivat lähinnä käyttöjärjestelmien käyttäjäkokemuksista. Koska molemmilta yrityksiltä löytyi toisiaan vastaavat kappaleenkäsittelijät, yritysten lähettämät faktat kerrottiin Osakeyhtiö Juho Jussilan edustajille mahdollisimman puolueettomasti.

3.4. Kuljetinjärjestelmä

Kuljetinjärjestelmän pohtiminen aloitettiin sillä, kuinka suuria ja kuinka monta kuljetinhihnaa tultaisiin tarvitsemaan suunnitelmaa varten. Tätä varten laskettiin tuotantomäärät molemmilta tuotantokoneilta, kappaleiden tarvitsema pinta-ala ja kuljetinjärjestelmälle käytettävissä olevan tilan määrä. Aluksi pohdittiin kolmea kapeaa kuljetinhihnaa siten, että kaksi olisi ollut samassa tasossa ja yksi tilan säästämiseksi hieman limittäin toisen kuljetinhihnan alla. Laskettiin, että mikäli korkeusero olisi ollut noin 300 mm ja alin kuljetinhihna olisi ollut noin 150 mm laitimaisen kuljetinhihnan alla leveyssuunnassa, tuotantokoneiden välimatka olisi ollut noin 1600 mm ja kulma kahden kuljetinhihnan välillä noin 60 astetta. Näin ollen robotti olisi mahtunut toimimaan ja pakkaamaan myös alimman kuljetinhihnan hihnan laidasta alkaen. Ajatus kuitenkin hylättiin sillä perusteella, että vaikka yksi leveä hihna olisi vienyt enemmän tilaa ja vaatinut pidemmän

käsivarren robottiin, monen pienen kuljettimen asennuksesta olisi tullut ongelmia ja hihnojen purkaminen toisessa päässä olisi hankaloitunut korkeuserojen takia. Tämän lisäksi jäähtyneiden kappaleiden mahdollinen puskurivarastoon liu'uttaminen sekä hihnojen huolto olisivat hankaloituneet. Näiden asioiden takia päädyttiin yhteen kuljetinhihnaan.

Koska koneista tuli kahta erilaista kappaletta, joista toisia tuli vielä kaksi kerrallaan, ei yksi kapea hihna ollut pakkaamisen kannalta optimaalinen, koska silloin työntekijä olisi sidottu purkamaan tuotteita kuljetinhihnalta kokoaikaisesti. Kappaleet myös naarmuuntuivat herkästi lämpiminä, minkä vuoksi hihnaa ei voinut pyörittää jatkuvalla syötöllä. Nämä seikat huomioden tultiin siihen tulokseen, että järkevin ratkaisu oli yksi leveä hihna, johon mahtui pakkaamaan vähintään laatikollisen 1+1 pesäistä tuotetta ja kaksi laatikollista kaksipesäistä tuotetta. Tällöin hihna ei olisi venynyt tarpeettoman leveäksi eikä myöskään työntekijöiden olisi tarvinnut seisoa koko ajan hihnan toisessa päässä pakkaamassa tuotteita. Yhden työntekijän työpanos tuli myös optimoitua mahdollisimman tehokkaaksi, koska vieressä olevia muita koneita pystyttiin hoitamaan samanaikaisesti.

Hihnan leveyttä ja pituutta suunniteltaessa ensimmäisen rajoitteen asetti hihnan pituus. Seuraavan tuotantokoneen ohjausyksikkö sekä kappaleenpudotusluukku sijaitsivat siten, että hihnan käytännöllinen pituus olisi ollut enimmillään 3000 mm. Tätä pituutta tuki myös se, että tällöin kappaleet olisivat tulleet kuljettimella koneiden välistä hieman koneiden ohi, jolloin työntekijän ei olisi tarvinnut työskennellä koneiden välissä. Tämän jälkeen alettiin laskea kuljettimelle tarvittavaa leveyttä. Kappaleiden käyttämä pinta-ala laskettiin siten, että 1+1 pesäistä tuotetta pakattiin konetta lähempänä olevalle hihnan puolelle ainakin yksi laatikollinen eli yli 70 kappaletta ja jäljelle jäävään tilaan kaksipesäistä tuotetta kaksi laatikollista, eli 160 kappaletta. Tästä tultiin siihen tulokseen, että hihnan käyttöleveydeksi tuli 1750mm.

Mietittäessä kuljetinhihnan purkamista tuotteista, tultiin siihen tulokseen, että kuljettimen tuli toimia kaksivaiheisena. Tämä tarkoitti sitä, että kun huomioitiin robotin toimintasäde hihnaa pakattaessa, turvaportit ja turva-alue robotille,

robotti pakkasi ensin 1500 mm pitkän alueen hihnasta täyteen tuotteita, jonka jälkeen hihna kulki 1500mm matkan eteenpäin turvaporin ali hihnan purkamiseen tarkoitettulle puolelle. Tällöin hihna oli tyhjillään robotin puolella turvaporitteja, eli robotti saattoi aloittaa pakkaamisen samalla ohjelmalla alusta, kun taas toisella puolella työntekijä saattoi aloittaa kappaleiden pakkaamisen hihnalta kuljetuslaatikoihin. Kappaleiden pakkaamisessa kestävästä ajasta ei saatu tarkkoja mittaustietoja, koska kyseistä toimintamallia ei oltu aikaisemmin tehty, mutta työntekijöiden kokemuksen perusteella arvioitiin kestoksi noin 10–15 minuuttia tuolle kappalemäärälle.

Tämä olisi toteutettu käytännössä siten, että kuljetinhihnaan olisi asennettu neljä metallinastaa sekä metallin tunnistava anturi, joka nastan tullessa kohdalle olisi pysäyttänyt hihnan. Kun robotti olisi pakannut puolet hihnasta täyteen eli suorittanut ohjelmansa loppuun, se olisi ohjelmoitu vielä käymään metallin tunnistavan toisen anturin luona, jonka tehtävänä olisi ollut antaa hihnalle komennon liikkua eteenpäin, kunnes nasta anturin kohdalla olisi taas pysäyttänyt sen. Tällöin kappaleiden pakkaaminen hihnalle olisi kestänyt noin 26,7 minuuttia, joten työntekijöillä olisi ollut runsaasti aikaa pakkaustehtävien välissä hoitaa muita koneita. Jo aikaisemmin laskettiin, että koneiden jaksoajan ollessa noin 40 sekuntia, robotille jäi noin 20 sekuntia aikaa ottaa kappale muotista ja asettaa se kuljettimelle kuuluvaan paikkaan. Kuljettimella oli myös noin 20 sekuntia aikaa siirtyä laskettu 1500mm matka, joka olisi tehnyt matkanopeuden minimiksi 4500mm/minuutti. Kysyttäessä asiaa kuljettimia valmistavien yritysten edustajilta selvisi, että vakionopeus kyseisissä kuljettimissa oli kuusi metriä minuutissa, joten se olisi riittänyt mainiosti liikuttamaan täyden hihnan 1500mm eteenpäin ja pysähtymään, ennen kuin robotti olisi aloittanut hihnan tyhjän kohdan pakkaamisen.

Kun asiaa pohdittiin myöhemmin työergonomian ja -hyvinvoinnin kannalta tultiin siihen tulokseen, että nastoja olisi pitänyt asentaa kahdeksan kappaletta hihnaan, jotta hihnasta olisi täytetty kerralla pituussuunnassa 750mm:n alue. Tämä johtui siitä yksinkertaisesta syystä, että koneiden välistä hihnaa ei olisi päästy purkamaan kappaleista sivultapäin, joten ilman apuvälinettä kukaan ei olisi

ylettynyt ottamaan kappaleita hihnan kauimmasta osasta. Tämän vuoksi selvitettiin, kuka yrityksen muovipuolella työskentelevistä henkilöistä oli lyhyin ja hänen kanssaan testattiin ylettyikö hän kurottelematta ottamaan 750mm päästä pöydältä kappaleen. Tällä saatiin selville, että hihnan tulisi pysähtyä 750 millimetrin välein, jotta sen purkaminen olisi helpompaa ja mahdollista. Kun hihnan pituutta ei olisi muutettu, vaan robotti ohjelmoitu pakkaamaan neljännes hihnasta kerrallaan, kappaleet olisivat purkupäässä jäähtyneet 80-asteisista vähintään 40 minuuttia. Silloin ne olisivat olleet miellyttävän viileitä kosketella eivätkä tämän lisäksi olisi naarmuuntuneet yhtä helposti kuin lämpimänä, jolloin kappaleiden liu'uttaminen esimerkiksi puskurivarastona toimivalle alustalle olisi ollut myös mahdollista. Tällöin neljänneshihnan purkaminen kappaleista olisi kestänyt teoreettisesti noin 5-7 minuuttia ja hihna olisi kuitenkin ollut paikallaan noin 14 minuuttia, joten työntekijöille olisi jäänyt edelleenkin aikaa hoitaa myös muita koneita samanaikaisesti.

Hihnan käyttöleveyden laskemisen jälkeen ruvettiin selvittämään kuljetinhihnoja valmistavien yritysten yhteystietoja, joihin sittemmin olisi voitu lähettää tarjouspyynnöt. Lähteenä käytettiin Ari Niemiseltä saatuja muovialan vuosikirja 2010 -opasta, jossa oli lueteltuna mm. muoviteollisuudelle kuljetinhihnoja valmistavat yritykset. Asiasta soitettiin kuudelle eri kuljetinvalmistajia edustavalle yritykselle ja heille esitettiin suullinen tarjouspyyntö hihnakuljettimesta, jonka korkeus oli vähintään 800 mm, pituus 3000 mm, leveys 1750 mm, nopeus 6 m minuutissa ja jossa oli pyörät vähintään toisen pään jalkojen alla huollon ja kuljettimen paikaltaan poistamisen helpottamiseksi. Koska robotin käytön kannalta kuljettimen sama paikoitus oli erittäin tärkeää, esitettiin kohdeyrityksen edustajille kuljettimen paikoittamisen helpottamiseksi pultilukkojen asentamista kuljettimen pyörällisen pään jalkoihin sekä kolmannen pultilukon asentamista pyörättömän pään jalkojen väliin esimerkiksi hitsaamalla jalkojen väliin metallitangon ja asentamalla pultilukon siihen. Näillä toimenpiteillä ja kolmella reiällä lattiassa olisi saatu kuljetinhihna aina varmasti samalle paikalle, kuljetin olisi saatu pysymään paikoillaan sekä poistettua huollon tai muun tarpeen vuoksi.

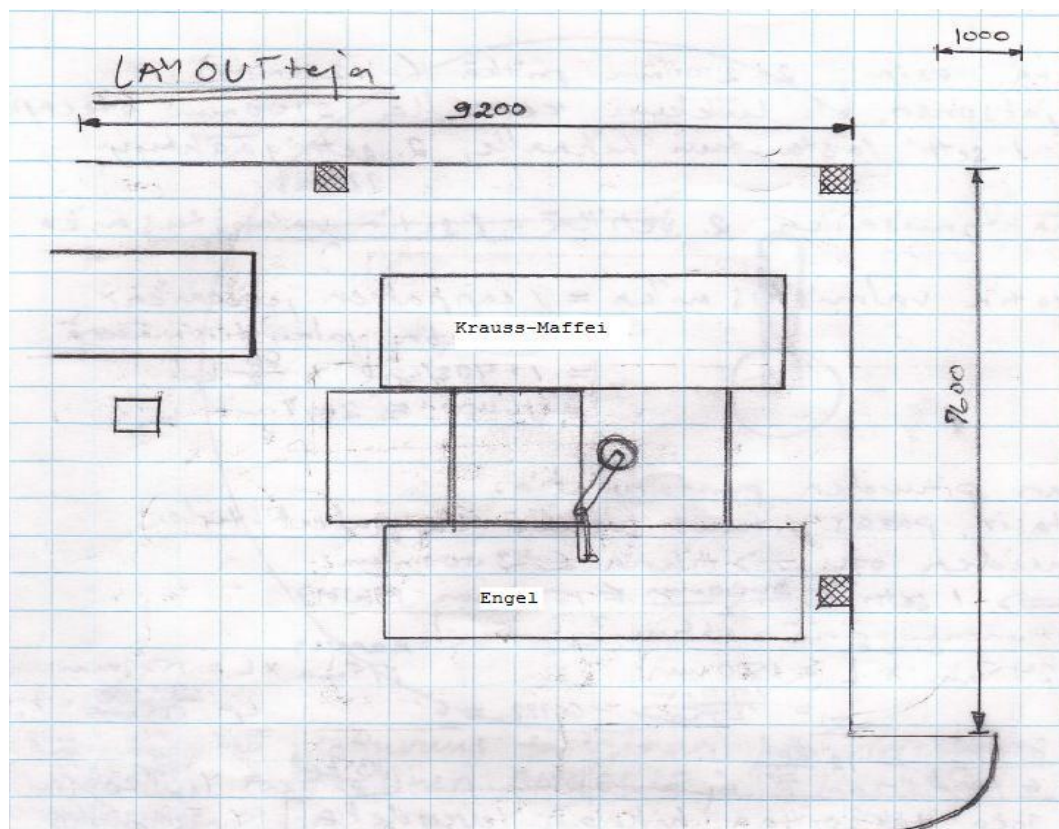
3.5. Layout

3.5.1. Layoutin teoria

Layoutilla tarkoitetaan teollisuudessa sitä, kuinka kaikki tuotannon koneet, eri osastot, työpisteet, varastot ym. sijaitsevat tuotantotiloissa. Layoutin päätavoite on varmistaa mm. sujuva työn, materiaalin sekä tiedon kulku tuotannossa. Tehokas ja hyvä layout vaikuttaa tuotannon jokaiseen osa-alueeseen. Materiaalien käsittelykustannukset putoavat mahdollisimman pieniksi kun varastojen järjestys on materiaalivirran ja muiden tärkeiden elementtien mukaan suunniteltu. Työn tehokkuus lisääntyy ja tuotetun tavaran valmistusaika lyhenee, tilojen käyttö tehostuu ja jopa tiedonkulku nopeutuu niin työntekijöiden, työntekijöiden ja esimiesten kuin työntekijöiden ja asiakkaiden välillä. Työturvallisuuskin paranee hyvällä layoutilla, kun kaikki tuotantotiloissa on suunniteltu turvalliselle paikalle. (Russell & Taylor III 2003, 161-165)

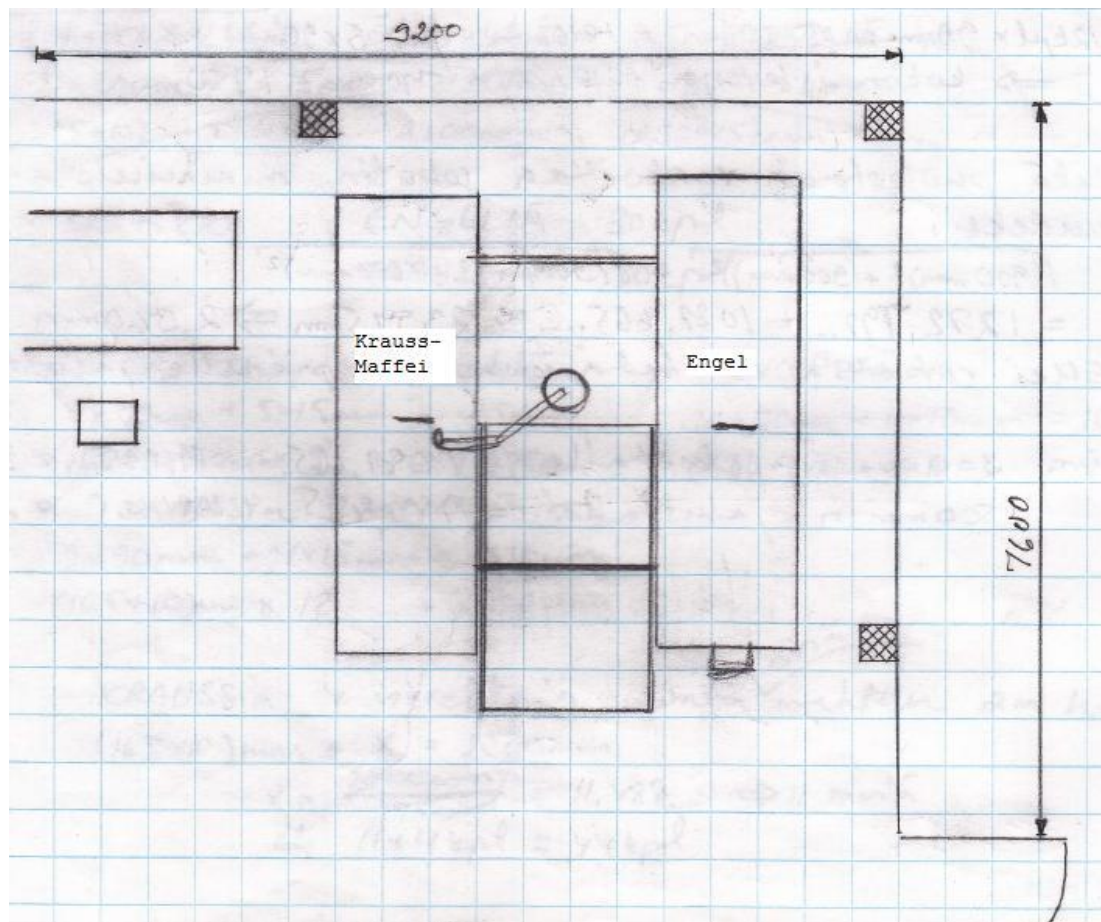
3.5.2. Tämänhetkinen layout sekä layoutehdotus

Yrityksen muovipuolella layout oli työn tekemisen hetkellä muotoutunut itsestään, koska uusia tuotantolaitteita ostettaessa koneet oli laitettu sillä tavalla, että kaikki mahtuivat halliin. Kyseisestä layoutista ei ollut piirretty laisinkaan mallia, joten esitetty ehdotus nykyisen layoutin mallin luomisesta sai yrityksen edustajilta positiivista vastinetta. Suurimpana ja rajoittavimpana elementtinä hallissa oli keskellä hallia sijaitsevat varastohyllyt, ja lisäksi tuotantokoneet oli sijoiteltu hallin laidoille kiertämään hallia. Yrityksen kanssa sovittiin, että yrityksen senhetkisestä layoutista tehtäisi elektroninen version, jonka tekeminen aloitettiin pohjapiirustuksen luomisella. Yrityksen myyntipäällikkö Harri Savo auttoi etsimään talon alkuperäiset arkkitehdin piirtämät pohjapiirustukset, joiden pohjalta piirtäminen suoritettiin. Kaikki seinien mitat eivät kuitenkaan pitäneet pohjapiirustuksissa paikkaansa. Arkkitehdin piirustuksiin kirjaamien mittojen mukaan laskettuna itäisen seinän pituus ei ollut sama kuin eteläisen seinän ja pohjoisen seinän välimatka. Välimatkan olisi pitänyt olla tismalleen sama kuin pituuden, mutta arkkitehdin kirjaamien mittojen mukaan kyseisten seinien välimatkan ja niitä yhdistävän seinän pituudessa oli 1200 mm ero. Tästä aiheutui



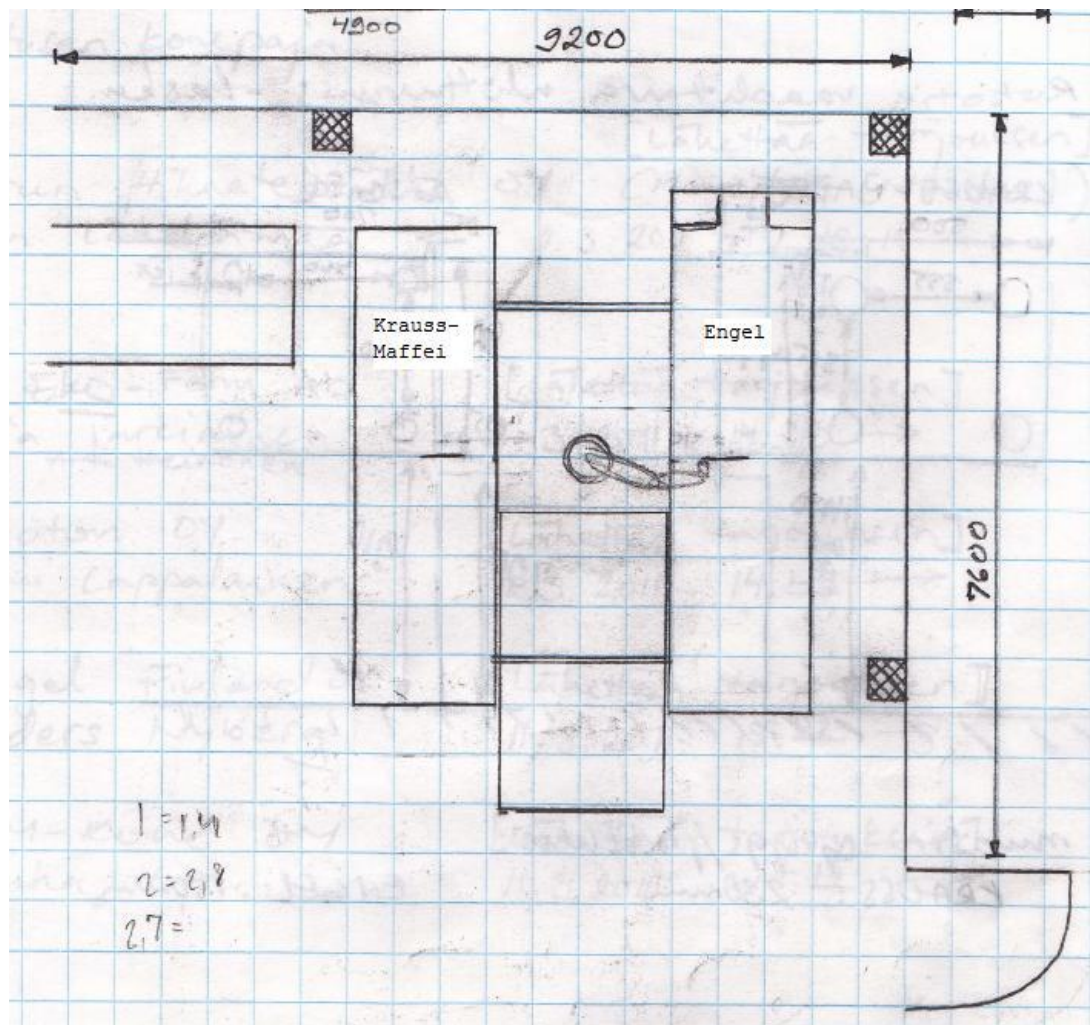
KUVIO 7. Layoutluonnos 1

Ensimmäisessä luonnoksessa (ks. KUVIO 7) hahmoteltiin yksinkertaisin vaihtoehto uudelle layoutille. Ajatuksena oli, että Engelin ruiskuvalukonetta, joka oli näistä kahdesta koneesta suurempi, ei olisi tarvinnut siirtää ollenkaan. Pienempää ja kevyempää Krauss-Maffeita olisi siirretty vaadittava määrä lähemmäksi Engeliä. Hyvänä puolena tässä layoutissa oli se, että pienemmän koneen siirtämisestä yritys olisi selvinnyt talon omilla työkaluilla ja nostureilla. Huonona puolena layoutissa oli se, että robotilta olisi vaadittu hieman pidempää ulottuvuutta, sillä kappale olisi jouduttu ottamaan koneen "väärältä puolelta" eikä suunnitellusta kappaleenottoaukosta. Tämä seikka ei kuitenkaan robottivalmistajien edustajien mielestä olisi aiheuttanut automatisoinnin kannalta mitään ongelmaa.



KUVIO 8. Layoutluonnos 2

Toisena vaihtoehtona (ks. KUVIO 8) hahmoteltiin layoutia, jossa koneet olisi käännetty siten, että erittäin harvoin käytössä olevien lastausovien edessä oleva tyhjä tila olisi saatu käyttöön. Tässä mallissa hyvänä puolena oli se, että mikäli tuotantoa olisi tarvinnut ajaa täysautomaatilla, olisi tyhjään tilaan voinut helposti valmistaa jonkin asteisen puskurivaraston. Puskurivarasto olisi voinut esimerkiksi olla liukas pinta, johon kuljetinjärjestelmä kappaleet olisi siirtänyt ja josta ne olisivat liukuneet esimerkiksi lattialla olevaan kaukaloon. Huonona puolena tässä mallissa oli se, että koneita olisi pitänyt siirrellä melko paljon ja hallista löytyvillä välineillä siitä ei laatupäällikkö Ari Niemisen mukaan olisi selvitty. Lisäksi Engel olisi edelleenkin ollut ”väärin päin”, eli kappaleenkäsittelijä olisi joutunut kurottelemaan pidemmän matkan kappaleelle.



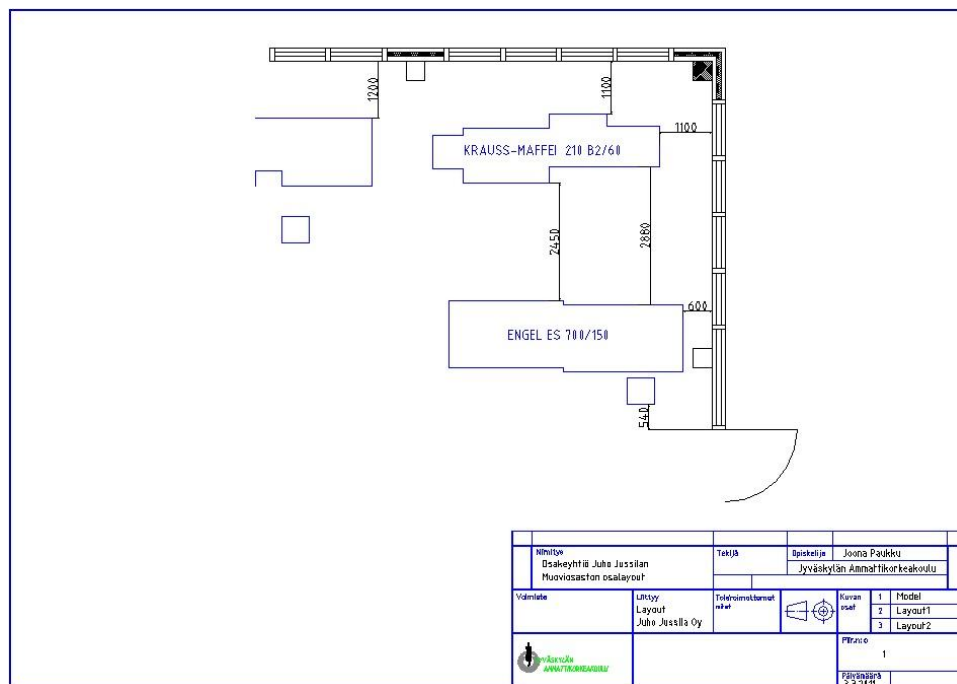
KUVIO 9. Layoutluonnos 3

Kolmas luonnos (ks. KUVIO 9) on muuten sama kuin edellinen, mutta tässä huomioitiin kappaleenkäsittelijän ulottuvuus ja Engel käännettiin. Tässä mallissa robotti olisi ottanut kappaleen ulos koneen suunnitellusta ulosottoluukusta, jolloin kappale olisi ollut lähempänä koneen laita, eikä robotilta olisi vaadittu aivan niin pitkää ulottuvuutta. Huonona puolena tässä olivat samat ongelmat kuin toisessa luonnoksessa, eli koneita olisi pitänyt käännellä ja liikutella paljon ja niistä ei hallin sen hetkisillä varusteilla olisi niin helposti selvitty.

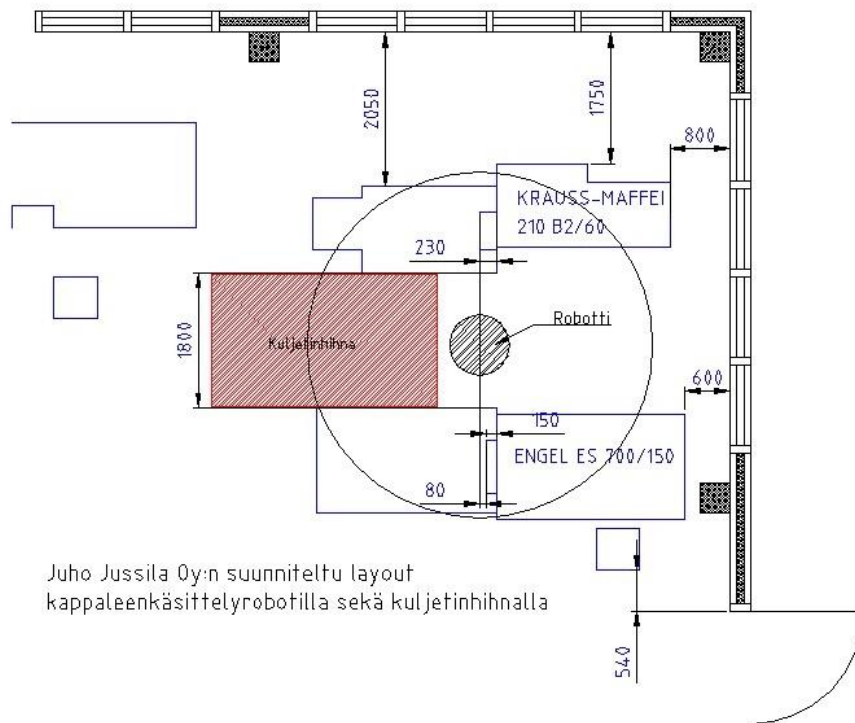
Kaikki kolme vaihtoehtoa käytiin läpi ja niistä viisaimpana pidettiin yksinkertaisinta, eli kuvion kymmenen mukaista mallia, jossa Krauss-Maffeita olisi siirretty vain hieman lähemmäksi Engeliä ja kuljetinjärjestelmä olisi asetettu

koneiden väliin. Tällöin koneita olisi pitänyt siirtää mahdollisimman vähän ja kuljetinjärjestelmän päähän olisi jäänyt tilaa, jonka olisi voinut hyödyntää esimerkiksi puskurivarastona automaattiajon aikana. Myös koneiden ohjausyksiköille olisi jäänyt tässä vaihtoehdossa hyvin tilaa koneiden sivuille, ettei koneita olisi tarvinnut ohjata robotin turvahäkin sisäpuolelta. Muovipuolen johtaja Ari Niemiseltä kysyttiin mielipidettä luonnoksiin. Hänkin oli sitä mieltä, että kuvion kymmenen mukainen järjestely olisi ollut paras vaihtoehto myös siinä mielessä, että sitä varten ei olisi tarvinnut tilata ulkopuolisia siirtämään koneita paikalleen.

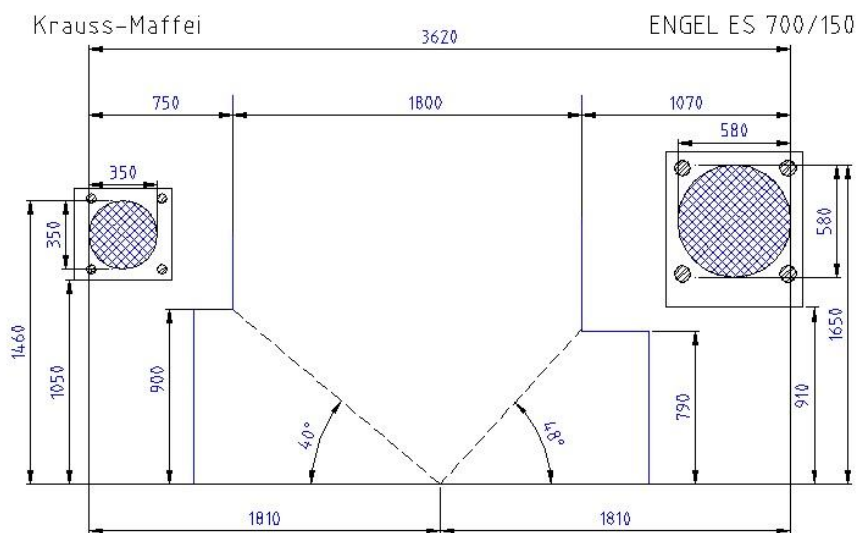
Kun yrityksen puolelta oli saatu hyväksyntä layoutille, siitä alettiin työstää elektronista mallia. Ajatuksena tässä oli lähettää nämä layoutit kappaleenkäsittelijärobotin tarjouspyynnön mukana asianosaisille yrityksille. Mallit tehtiin siitä, missä kohdalla ruiskuvalukoneet sijaitsivat hallissa kyseisellä hetkellä (KUVIO 10) ja mihin ne suunnitellusti olisivat sijoittuneet (KUVIO 11).



KUVIO 10. Nykyinen layout



KUVIO 11. Suunniteltu layout

Sivuleikkaus tuotantolaitteista muottien kohdalta
(suunniteltu layout)

KUVIO 12. Sivuleikkaus ja mitat

Koneiden väliin merkittiin selkeästi robotti sekä sen toiminta-alue ja piirrettiin myös kuljetinjärjestelmä. Tämän jälkeen luonnosteltiin suunnitelmien mukainen

poikkileikkaus koneiden muottien kohdalta (KUVIO 12), josta tarjousta tehneet yritykset näkisivät hyvin etäisyydet ja tarvittavat mitat.

4 TALOUSLASKELMAT

Tässä osiossa puretaan suoritettuja laskelmia yrityksen tätä projektia kohtaan kohdistuneista mahdollisista kustannuksista, kustannusten takaisinmaksuajasta sekä muista laskelmista joita lopputyön aikana tehtiin.

4.1. Kustannuslaskelmat

Kustannuslaskelmat perustuivat niihin lukuihin, joita tarjoukset antaneilta yrityksiltä sekä Osakeyhtiö Juho Jussilalta saatiin.

Kustannuksia robotista olisi tullut hankintakustannusten lisäksi huoltokustannukset sekä sähkökustannukset. Säästöjä robotin hankkiminen olisi tuottanut siten, että kyseisellä hetkellä molemmat koneet tarvitsivat oman työntekijän kokoaikaisesti koneen palvelun hoitamiseksi. Suunnitelman mukaan näistä työntekijöistä toisen olisi voinut sijoittaa muihin tehtäviin ja kuljetinhihnan purku ei olisi sitonut toista työntekijää kuin noin 20–30 minuuttia tunnista. Excel- taulukkoon merkittiin kaikki oleelliset tiedot, joiden perusteella saatiin laskettua mm. kokonaismenot, työntekijöistä johtuvat kustannukset, automatisoinnista saavutetut säästöt sekä takaisinmaksuajat.

4.2. Takaisinmaksuaikalaskelmat

Takaisinmaksuajan laskeminen aloitettiin selvittämällä Ari Niemiseltä viimeisten kolmen vuoden toteutuneet tuotantomäärät, kuluvan vuoden arvioidut tuotantomäärät sekä jaksoajat kummaltakin koneelta ja merkitsemällä ne Excel -

taulukkaan. Niemiseltä saatiin myös selville molempien koneiden sähkönkulutus, raaka-aineen kilohinta, kappaleiden iskupainot sekä molemmista kappaleista saatavat myyntihinnat. Näiden tietojen perusteella laskettiin tuotantoon vuosittain käytettävä aika sekä vuosittaiset tuotannosta syntyvät tulot. Myyntipäällikkö Harri Savolta kysyttiin sähkön hinta, koneiden vuosittaiset huoltokustannukset kuluneelta kolmelta vuodelta sekä työntekijöistä johtuvat keskimääräiset kustannukset työnantajalle (ks. Liite 1). Näiden tietojen pohjalta laskettiin kaikki menot ja tulot yhteensä (ks. Liite 2). Kun oli saatu selville menot ja tulot, kirjattiin tarjoukset sekä kuljetinjärjestelmistä että kappaleenkäsittelijäroboteista Exceliin omille sivuilleen (ks. Liite 3 ja Liite 4). Näiltä sivuilta poimittiin kannattavuuslaskentaa varten hintoja ja tätä kautta myös tarjousten sisältö oli helppo esitellä Osakeyhtiö Juho Jussilassa.

Näiden lisäksi tehtiin myös laskuja joiden perusteella saatiin selville kuinka paljon automaatiolla olisi saatu aikaan säästöjä vuodessa (ks. Liite 5). Näitä lukuja käytettiin myöhemmin takaisinmaksuajan laskemisessa.

Koska Fastems Oy sisällytti tarjoukseensa myös kuljetinjärjestelmien rakentamisen, laskettiin Yaskawa-Motoman Ltd:n tarjouksen ja eri kuljetinjärjestelmien tarjoukset yhteen ja verrattiin hintoja (ks. Liite 4). Tehtävän haasteellisuutta lisäsi se, että Yaskawa-Motomanin tarjous oli laaja hinta-arvio, kun taas Fastems Oy:n tarjous oli tarkka summa. Yaskawa-Motomanin ja kuljetintarjousten halvin mahdollinen ja kallein mahdollinen hinta laskettiin. Näiden lukujen perusteella laskettiin automaation kokonaiskustannus ja takaisinmaksuaika pelkkiin tuloihin sekä säästöihin verraten (ks. Liite 5).

Molemmat laskutoimitukset esiteltiin kohdeyritykselle, mutta heille painotettiin, että he pystyisivät itse vaikuttamaan takaisinmaksun nopeuteen riippuen siitä, kuinka paljon he haluaisivat sijoittaa vuosittaisista tuotoistaan takaisinmaksuun (ks. Liite 6). Mikäli he hankkisivat järjestelmän, laskut osoittaisivat missä ajassa järjestelmä olisi maksanut itse itsensä takaisin ja kuinka paljon takaisinmaksu nopeutuisi tuotoista panostamalla.

5 TUTKIMUSTULOKSET

Lopputuloksena opinnäytetyöstä yritykselle tehtiin nykyisestä layoutista paperinen ja elektroninen version. Vanhan manipulaattorin todettiin olevan tähän tarkoitukseen liian suurpiirteinen, mutta puupuolella se todettiin esimerkiksi raaka-aineiden siirtoihin kuitenkin käyttökelpoiseksi. Todettiin myös, että sen hetkisillä tuotantomäärillä pelkän Krauss-Maffein automatisointi kappaleenkäsittelijää apuna käyttäen ei olisi ollut taloudellisesti järkevää. Suunnitelmat tehtiin siitä, kuinka yhdellä kappaleenkäsittelijärobotilla Krauss-Maffein ja viereisen Engelin koneiden palvelut olisi voitu taloudellisesti järkevästi yhdistää ja kuinka yhdellä leveällä kuljetinhihnalla kappaleet olisi saatu kuljetettua pois koneiden välistä pakkaamista varten. Kappaleenkäsittelijärobotti suunniteltiin ottamaan kappaleet ruiskuvalukoneista pois ja asettamaan ne kuljetinhihnalle jäähtymään.

Layout- ehdotukset tehtiin kappaleenkäsittelijärobotin sijoittamisesta tuotantotiloihin sekä kuljetinjärjestelmän paikoituksesta mikäli yritys päättäisi toteuttaa projektin. Takaisinmaksuaika laskettiin sen perusteella, että kustannukset pysyvät yritysten ilmoittamina. Lisäksi yrityksen edustajille selvitettiin, kuinka suunnitellulla menetelmällä saataisiin yksi henkilö siirrettyä koneilta yrityksen määrittelemään tärkeämpään tehtävään ja kuinka toisen henkilön koneella käyttämä aika saataisiin puolitettua.

Kaikki tehdyt Excel-taulukot, AutoCAD -piirustukset sekä saadut tarjoukset annettiin tulosseminaarissa muistitikulla myyntipäällikkö Savolle, jotta yritys voisi käyttää Excel-taulukkojen laskureita takaisinmaksuajan määrittelyssä. Mikäli muoviosastolle tultaisi tulevaisuudessa tekemään muutoksia, on yrityksessä nyt myös sähköinen versio layoutista ja muoviosaston pohjapiirustuksesta.

6 TULOSTEN ANALYSOINTI

Kun vertaa lopputuloksia tehtävän tavoitteisiin, olen niihin melko tyytyväinen. Sain tehtyä yritykselle kaiken mitä he pyysivät ja lisäksi pystyin olemaan hieman muutenkin apuna Osakeyhtiö Juho Jussilassa viettämäni jakson aikana. Layoutin osalta olen eritoten tyytyväinen, että kykenin tarjoamaan yrityksessä tehtäviin tuleviin projekteihin elektronisen pohjamallin jota hyödyntää. Olisin tietysti halunnut nähdä kappaleenkäsittelijän hankinnan, asennuksen ja käytäntöönpanon ja olla osallisena näissä, jotta olisin voinut paremmin analysoida teoreettisiksi jääneitä tuloksiani ja verrata niitä käytännön näyttämiin varsinaisiin tuloksiin. Valitettavasti se ei kuitenkaan ollut tällä kertaa mahdollista, mutta aion esittää yritykselle pyynnön, jossa toivon heidän ottavan minuun yhteyttä mikäli hankkivat kyseisen järjestelmän.

Kysyessäni yrityksen edustajilta asiasta, oltiin yrityksen puolelta tyytyväisiä työhöni. Lopputulokset ja etenkin talouslaskelmat eivät varsinaisesti tulleet yrityksen edustajille yllätyksinä, mutta takaisinmaksuajan taulukoihini myyntipäällikkö Savo oli erittäin tyytyväisen oloinen. Luulen, että tekemäni sähköinen versio pohjapiirustuksesta saattaa nousta vielä suureen arvoon, kun yrityksessä suunnitellaan tulevaisuuden hankintoja.

Lopputulokset ja talouslaskelmat osoittavat yritykselle mielestäni hyvin kappaleenkäsittelijärobotin ja tuotannon automatisoinnin kannattavuuden. Uskon myös osoittaneeni yritykselle kustannusten tuoman selkeän hyödyn.

LÄHTEET

Aalto, K., Alavalkama, I., Höök, T., Järvelä, P., Puhakka, T. & Valtatie, T. n.d. Ruiskuvalu. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Materiaalioppi / Muovi- ja elastomeeritekniikka. Viitattu 16.2.2011.

<http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/tuula/Ruiskuvalu/suomi/frontpage.html#>

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY.

Heinonen, A. Edustaja. Oy Eko-Form Ab. Puhelinhaastattelu 11.3.2011

Hirn, J. Edustaja. EM-Kone Oy. Puhelinhaastattelu 11.3.2011

Huikuri, A. KUKA Roboticsin edustaja. KUKA Nordic Ab. Puhelinhaastattelu 1.2.2011.

Hyytiäinen, J. Robottimyyjä. ABB Oy. Puhelinhaastattelu 1.2.2011

Höök, T. & Nykänen, S. 2009. Ruiskuvaluprosessi. Luotu 13.12.2009. Viitattu 16.2.2011. <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>

Johannaber, F. 2008. Injection Molding Machines; A User's Guide. 4th edition. München, Saksa: Carl Hanser Verlag.

Kotamäki, M. & Nyberg, T., R. 1992. Koneautomaatio 2000. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Krauss-Maffei 210 B2/60, hydraulikkakaaviot. 1991. Krauss-Maffei Oy.

Krauss-Maffei 210 B2/60, käyttö-ohjeet. 1991. Krauss-Maffei Oy.

Krauss-Maffei 210 B2/60, ohjauskaaviot. 1991. Krauss-Maffei Oy.

Krauss-Maffei 210 B2/60, sähkökaaviot. 1991. Krauss-Maffei Oy.

Krauss-Maffei 210 B2/60, varaosa-listat. 1991. Krauss-Maffei Oy.

Kuivanen, R., Suomen Robotiikkayhdistys Ry. 1999. Robotiikka. Vantaa: Tummavuoden kirjapaino Oy.

Lahdenmaa, E. Edustaja. Turun Hihnatekniikka Oy. Puhelinhaastattelu 11.3.2011.

Lappalainen, T. Omistaja. Cupton Oy. Puhelinhaastattelu 11.3.2011.

Lehtonen, A. 1994. Sähköpneumaattinen manipulaattori. Teknikkotyö. Jyväskylän teknillinen oppilaitos, Sähköosasto.

Lewis, F., L. & Munro, N. 2004. Robot Manipulator Control; Theory and Practice. Second Edition, Revised and Expanded. New York, U.S.A: Marcel Dekker Inc. Viitattu 14.3.2011.

<http://newplans.net/RDB/Robot%20Manipulator%20Control%20Theory%20and%20Practice%20-%20Frank%20L.Lewis.pdf>

Mainostoimisto Aava & Bang. 2011. Historia | Oy Juho Jussila. Viitattu 16.2.2011. <http://www.juhojussila.fi/historia/>

Muovimuotoilu. n.d. Ruiskuvalutekniikan perusteet. Viitattu 30.3.2011. <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/114/158/>

Muoviyhdistys Ry. 2010. Muovialan vuosikirja 2010. AMT Hakemistot Oy.

Nieminen, A. 2011. Laatupäällikkö. Osakeyhtiö Juho Jussila Oy. Haastattelu 14.3.2011

Nyberg, A. Edustaja. ENGEL Finland Oy. Puhelinhaastattelu 11.3.2011.

Pajula, H. MOTOMAN:n edustaja. Yaskawa Finland Oy. Puhelinhaastattelu 1.2.2011.

Russell, R., S. & Taylor III, B., W. 2003. Operations Management. Fourth edition. New Jersey, U.S.A.: Pearson Education Inc.

Savo, H. 2011. Myyntipäällikkö. Osakeyhtiö Juho Jussila Oy. Haastattelu 26.5.2011

Tammi, P. CLS-Engineering Oy:n edustaja. CLS-Engineering Oy. Puhelinhaastattelu 1.3.2011.

Tarkiainen, A. Edustaja. Oy Eko-Form Ab. Puhelinhaastattelu 11.3.2011

LIITTEET

Liite 1. Alkutietoja

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.

Liite 2. Tietoja

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.

Liite 3. Hihnatarjoukset

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.

Liite 4. Kappaleenkäsittelijätarjoukset

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.

Liite 5. Säästöt ja aiheutuneet kustannukset

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.

Liite 6. Takaisinmaksulaskuja

Liite sisältää arkaluontoista materiaalia, jonka yritys on halunnut salata.